



**Universidad  
Libre**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADOS  
TRABAJO DE GRADO**

**ESTUDIANTE:** Cristhian Camilo Wilches Borrás

**NOMBRE:** Cristhian Camilo Wilches Borrás

**CÓDIGO:**

**NÚMERO TELEFÓNICO:** 5424532

**NÚMERO CELULAR:** 3002147141

**CORREO ELECTRÓNICO:** cwilches@westarco.com - titishc96@hotmail.com

**TÍTULO:** Recuperación por recubrimientos duros de un distribuidor de pasta para prensas de extrusión de consumibles de soldadura, desgastado por abrasión.

**ÁREA DE INVESTIGACIÓN:** Materiales

**CAMPO DE INTERÉS:** Soldadura

**DIRECTOR:** HECTOR FERNANDO ROJAS MOLANO

**PROFESIÓN:** INGENIERO METALURGICO

**MAT PROFESIONAL:** CN231-27073

**DIRECCIÓN:** CRA 70 No 53 - 40 Sede Bosque Popular. Ed. Laboratorios Of I- 203

**CORREO ELECTRÓNICO:** hectorf.rojasm@unilibrebog.edu.co

---

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**ESTUDIANTE**

## Tabla de contenido

1. ANTECEDENTES .....	6
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	9
3. JUSTIFICACIÓN. ....	10
4. OBJETIVOS .....	11
4.1. General .....	11
4.2. Específicos .....	11
5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO .....	12
6. MARCO TEORICO.....	13
6.1. Recubrimientos Duros por Soldadura .....	13
6.2. Recubrimiento y Reparación. ....	14
6.3. Hardfacing.....	15
6.4. Razones para la recuperación o el recubrimiento de piezas.....	16
6.4.1. Reducir costos.....	16
6.4.2. Prolongar la vida útil del equipo.....	16
6.4.3. Menor pérdida de tiempo .....	16
6.4.4. Reducción del inventario de repuestos.....	17
6.4.5. El recubrimiento y la recuperación de piezas se utilizan básicamente en dos áreas:	17
6.5 MECANISMOS DE DESGASTE .....	18
6.5.1 Desgaste por Abrasión.....	18
6.5.1.1 Abrasión pura o de baja tensión .....	19
6.5.1.2 Abrasión de alta tensión o esfuerzo.....	20
6.5.1.3 Abrasión por desgarramiento o arranque .....	20
6.5.2 Desgaste Metal – Metal.....	21
6.5.3 Desgaste por fatiga de Contacto .....	23
6.5.4 Desgaste por Deformación .....	24
6.5.5 Desgaste por Erosión .....	25
6.5.6 Desgaste por Cavitación. ....	26

6.5.7	Desgaste por Impacto.....	27
6.5.8	Desgaste por Corrosión .....	28
6.5.9	Desgaste por Choque Térmico .....	29
6.5.9.1	Fatiga Térmica.....	29
6.5.9.2	Oxidación. ....	29
6.6	CLASIFICACION DE LAS ALEACIONES DE RECUBRIMIENTOS.....	30
6.6.1	Aleaciones de base hierro con menos del 20% de aleación. ....	30
6.6.1.1	Aceros Aleados Martensíticos.....	30
6.6.1.2	Aceros Inoxidables Martensíticos .....	31
6.6.1.3	Aceros Rápidos.....	31
6.6.1.4	Aceros Austeníticos al Mn.....	33
6.6.1.5	Aceros Austeníticos Al Mn – Ni .....	34
6.6.1.6	Aceros Austeníticos al Mn – Mo .....	34
6.6.2	Aleaciones de base hierro con mas del 20% de aleación.....	35
6.6.2.1	Aceros austeníticos al Cr-Mn.....	35
6.6.2.2	Aceros Rápidos.....	36
6.6.2.3	Aceros inoxidables Austeníticos.....	36
6.6.2.4	Aleaciones al cromo austeníticas y martensíticas.....	36
6.6.3	Aleaciones no ferrosas.....	38
6.6.3.1	Aleaciones cobalto-cromo-tungsteno. ....	39
6.6.3.2	Aleaciones a base de níquel .....	41
6.6.4	Aleaciones de carburos.....	43
7	DISEÑO METODOLOGICO.....	44
8	RESULTADOS .....	45
8.1	Material Base (Calavera).....	45
8.2	Tipo de Desgaste.....	48
8.3	Selección del Recubrimiento.....	53
8.4	Temperaturas del Proceso. ....	54
8.5	Procedimiento de Recuperación de la Calavera.....	55

8.5.1	Procedimiento de Soldadura .....	55
8.5.2	Procedimiento de Mecanizado .....	59
8.5.3	Resultados y Puesta en Marcha.....	59
9	ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO.....	65
10	CONCLUSIONES.....	67
11	RECOMENDACIONES. ....	68
12	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	ANEXOS.....	70

## Tabla de Figuras y Fotos

Figura 1 Distribuidor de Pasta (calavera) y sus dimensiones físicas. ....	45
Foto 1 Distribuidor de Pasta (calavera).....	46
Foto 2 Muestra Extraída de la calavera .....	47
Foto 3 Medición de Dureza de la Calavera .....	48
Figura 2 Prensa de Extrusion.....	49
Figura 3 Vista Superior Prensa.....	50
Foto 4 Cabezote Primario.	
Foto 5 Posición Cabezote secundario con vista de la guía	
Transportadora de varillas.....	50
Foto 6 Flujo de la Pasta sin Movimiento .....	52
Foto 7 Flujo de la Pasta en Movimiento .....	52
Foto 8 Prensa Armada en funcionamiento.....	53
Foto 9 Calavera Desgastada .....	56
Foto 10 Calavera Desgastada con Dispositivo.....	56
Foto 11 Calavera Reconstruida con West Rode 10.....	57
Foto 12 Calavera Recuperada.....	58
Foto 13 Mecanizado de la Calavera. ....	59
Foto 14 Dureza Sección Recuperada y Sección sin Recuperar .....	61
Foto 15 Metalografía West Hard 70 .....	61
Foto 16 Calavera Recuperada y Cabezote .....	62
Foto 17 Fijación de la Calavera Recuperada al Cabezote.....	62
Foto 18 Cabezote Armado.....	63
Foto 19 Calavera Recuperada en el Cabezote Secundario .....	63

## **1. ANTECEDENTES**

A lo largo de los años el desgaste en las piezas ha sido un problema en la industria por los altos costos que genera el cambio de estas mismas, motivo por el cual se han realizado bastantes investigaciones de métodos y tipos de recuperación de piezas para alargar su vida útil en la industria, entre las cuales la gran mayoría han sido por soldadura, aunque en los últimos años se ha venido investigando acerca de nuevas tecnologías para la recuperación de las mismas. Todavía el método preferido debido a sus costos y practicidad sigue siendo la recuperación por soldadura.

Entre los estudios e investigaciones realizadas se resalta el gran interés en las propiedades y variables de los procesos de soldadura para mejorar cada día su resistencia, rendimiento y características metalográficas del metal depositado.

Algunas publicaciones e investigaciones que se han realizado son:

- EFECTO DEL AMPERAJE EN LAS PROPIEDADES DE RECUBRIMIENTOS DUROS RESISTENTES A LA ABRASION APLICADOS POR SOLDADURA.

Se estudió el efecto del amperaje en la microestructura, la dureza y la resistencia al desgaste abrasivo de dos aleaciones para recubrimientos duros con base hierro, alto Cr y C. se aplicaron dos y tres capas de cada electrodo mediante el proceso SMAW sobre platinas de acero ASTM A36. La resistencia al desgaste abrasivo se calculó midiendo la masa perdida después de un ensayo de acuerdo al estándar internacional ASTM G65. La microestructura fue analizada usando microscopio óptico y microscopio electrónico de barrido (SEM) y el porcentaje de dilución fue calculado en forma grafica para un cordón de soldadura. Los resultados muestran que al disminuir la entrada de calor se reduce el porcentaje de dilución y se promueve la formación de carburos primarios. La más alta resistencia al desgaste abrasivo se obtiene cuando la microestructura estuvo compuesta de carburos primarios y una matriz eutéctica. [1]

- RELACION MICROESTRUCTURA RESISTENCIA AL DESGASTE DE RECUBRIMIENTOS DUROS EN CROMO Y TUNGSTENO APLICADOS POR SOLDADURA ELECTRICA (SMAW).

Se comparo la microestructura y resistencia a la abrasión de recubrimientos duros depositados por soldadura sobre placas de acero estructural ASTM A36. Se utilizaron cinco electrodos comerciales, dos de bajo cromo, dos de alto cromo aplicados en una y dos capas y uno rico en tungsteno depositado en una capa. La resistencia la desgaste fue evaluada en una máquina de rueda de caucho y arena seca construida según la norma ASTM G65-80. Como material abrasivo se utilizaron partículas de sílice con índice de finura de AFS 50-70. La caracterización de las microestructuras se realizó utilizando microscopia óptica y electrónica de barrido. Los resultados mostraron que el parámetro de resistencia a la abrasión no esta directamente relacionado con dureza del material pero sí con el tipo, tamaño, forma, composición química y distribución de los carburos presentes en la matriz del recubrimiento [2]

- THE EFFECTS OF WELDING PROCESSES ON ABRASIVE WEAR RESISTANCE FOR HARDFACING DEPOSITS. Tribology Internacional.

Se evaluaron cuatro tipos de depósitos de soldadura aplicados con dos diferentes procesos: FCAW y SMAW. La otra variable en el ensayo fueron el número de capas aplicadas. La resistencia al desgaste fue evaluada en una máquina de rueda de caucho y arena seca construida de acuerdo al estándar ASTM G65. La caracterización de las microestructuras y el desgaste de la superficie en los depósitos se realizó utilizando microscopia óptica y electrónica de barrido. Los depósitos realizados por el proceso FCAW presentan mayor resistencia al desgaste por abrasión que los realizados por el proceso SMAW [3]

- WHAT TO KNOW BEFORE SELECTING HARDFACING ELECTRODES. Welding Journal

Se realizaron una serie de recomendaciones para la selección correcta de una aleación para recubrimientos duros, entre las cuales se resaltan que la selección correcta se ve

reflejada en los resultados de la protección y el tiempo de vida útil que ofrezca el equipo o la pieza que se ha recuperado.

Además se resalta que antes de realizar la selección del electrodo se deben resolver cuatro preguntas claves?

- ¿Cuál es el proceso de soldadura preferido?
- ¿Cuál es el tipo de material del equipo o pieza a recuperar?
- ¿Cuál es el tipo de desgaste?
- ¿Cuál es el resultado final que se requiere?

Cuando ya se tiene clara la aplicación específica y el conocimiento básico del recubrimiento a utilizar, se recomienda que el usuario trabaje en conjunto con un fabricante o distribuidor de soldadura para que de acuerdo a la necesidad específica de la superficie, se realice una compra adecuada, además si el cliente tiene una reputación favorable puede dar una guía sobre trabajos similares que hayan realizado. [4]



## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En la industria de fabricación de electrodos se mezclan diferentes tipos de materiales, en su mayoría minerales [5], que al mezclarse para después ser extruidos se homogenizan en una pasta de características abrasivas, que al pasar por el distribuidor de la prensa de extrusión genera un gran desgaste en un tiempo reducido, Motivo por el cual el cambio del distribuidor de pasta se convierte un costo significativo de la producción.

En el Departamento de Mantenimiento de Soldaduras West Arco Ltda. Nunca se ha intentado recuperar esta pieza por tal razón y necesidad de disminuir costos de producción se ha decidido iniciar con un plan de estudio para recuperación de piezas metálicas iniciando con el distribuidor de pasta.

Se deberá plantear si la recuperación del distribuidor de pasta por un proceso de soldadura adecuado y un tipo de material de aporte que garantice las características físicas y funcionales de dicha pieza para lograr alargar el tiempo de vida útil y minimizar los gastos de producción.

### **3. JUSTIFICACIÓN.**

Desde siempre la industria ha tenido un gran enemigo, el DESGASTE. Por causa suya, muchas partes y piezas desgastadas son tratadas como desechos y de igual forma el dinero que estas representan.

La Empresa Soldaduras West Arco no es la excepción en tener este enemigo, el cual genera costos anuales en el cambio del distribuidor de pasta en prensas de extrusión de \$14'000.000 aproximadamente. [6]

El sector industrial en busca de ser autosuficiente y más rentable se ve en la necesidad de buscar opciones y formas de controlar el desgaste y corregirlo mediante la aplicación de recubrimientos protectores que lleven a la optimización en el empleo de sus recursos con el propósito de minimizar costos de operación y maximizar el rendimiento de su maquinaria. [7] Motivo por el cual se ha creado una alianza de interés económico por parte de la empresa Soldaduras West Arco y de interés de aprendizaje y aplicabilidad de los conocimientos adquiridos durante la especialización y la experiencia en el campo por parte del investigador de este proyecto.

El desarrollo de este proyecto generara conocimiento y experiencia a través de los resultados que se obtengan para poder replicar el procedimiento de soldadura que se utilice para la recuperación del distribuidor de prensas de extrusión a las piezas de características y materiales similares en la empresa Soldaduras West Arco.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. General**

Recuperar por recubrimientos duros el distribuidor de pasta en prensas de extrusión para consumibles de soldadura.

### **4.2. Específicos**

- 1 Realizar la selección del metal de aporte de acuerdo al tipo de desgaste presentado en la pieza
- 2 Realizar el procedimiento para recuperación del distribuidor de pasta (calavera).
- 3 Comparar las durezas entre la pieza sin usar y la pieza recuperada.
- 4 Realizar un análisis Tecno-Económico para determinar la factibilidad de la recuperación.

## **5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

Este trabajo se limitara a realizar un estudio sobre la viabilidad de la recuperación por soldadura del distribuidor de pasta garantizando sus características funcionales y económicamente viables. Para poder ser incluida dentro del manual de mantenimiento de la empresa Soldaduras West Arco.

## **6. MARCO TEORICO**

### **6.1. Recubrimientos Duros por Soldadura**

Las primeras aplicaciones industriales de recubrimientos duros sobre superficies por soldadura, se realizaron hacia 1920 sobre las válvulas de los motores de combustión interna; los resultados obtenidos demostraban las grandes aplicaciones que podían esperarse del procedimiento. Se realizaron numerosos ensayos dentro de todos los campos de la industria; desde 1928, los americanos ejecutan el recargue de los taladros de sondeo y las grandes aplicaciones agrícolas, recubren, por soplete y por arco, las rejas de los arados con las aleaciones llamadas Haynes-Estelita.

Hacia 1930 se realizan ensayos en distintos países europeos para el recubrimiento de los railes, con aceros de baja aleación al cromo-manganeso ( $C = 0.4$ ;  $Cr = 1.2$ ;  $Mn = 1.1$ ). El procedimiento de recubrimiento duro se ha desarrollado considerablemente entre las dos guerras mundiales y sobre todo durante la segunda, en que la economía de materiales era una necesidad vital.

En la actualidad existe en el mercado un número considerable de aleaciones que responden a las propiedades mas variadas exigidas por los constructores:

- Resistencia al Choque
- Resistencia a la Abrasión
- Resistencia a la Cavitación
- Resistencia a las altas Temperaturas
- Resistencia a la Corrosión, etc.

Los procedimientos de recubrimiento por soplete oxiacetilénico y por arco mas comúnmente empleados, se complementan con los sistemas por arco de carbón, hidrogeno atómico, metalización por proyección.

## **6.2. Recubrimiento y Reparación.**

El recubrimiento y recuperación de piezas consiste en la aplicación de un material de aleación especial sobre una pieza metálica mediante diversos procesos de soldadura, con el fin de mejorar la resistencia al desgaste y/o recuperar las dimensiones apropiadas. La propiedad que generalmente se quiere mejorar es la resistencia al desgaste producto de la abrasión, impacto, adhesión, calor, corrosión o una combinación de cualquiera de estos factores. Existe una amplia gama de aleaciones de recubrimiento apropiadas para casi cualquier pieza metálica. Algunas aleaciones son muy duras, otras son más suaves con partículas dispersas de alta resistencia a la abrasión. Algunas aleaciones están diseñadas para llevar una pieza hasta una dimensión determinada, mientras que otras están diseñadas para obtener una capa antidesgaste que proteja la superficie de trabajo. El aumento de dimensión mediante la aplicación de un material de relleno, se puede utilizar para volver una pieza a su dimensión original. La capa final de recubrimiento, se puede utilizar para otorgar a la pieza una resistencia adicional contra el desgaste.

El aumento de dimensión o relleno y la capa final se pueden utilizar conjuntamente, esto es recomendable cuando concurre la necesidad de recuperación dimensional y de recubrimiento antidesgaste. [9]

La complejidad del fenómeno exige entender muy bien los mecanismos involucrados antes de seleccionar el material de recargue capaz de reconstituir una pieza desgastada. Sería fácil seleccionar una aleación de recargue si todos los componentes metálicos estuvieran sujetos solamente a un mecanismo de desgaste, pero, usualmente, se produce una combinación de dos o más factores.

Esta situación hace que la selección de la aleación sea más complicada, por lo que se aconseja elegir el mismo recargue en una situación de compromiso entre cada uno de los diferentes mecanismos de desgaste.

El análisis inicial debe centrarse en el proceso de desgaste principal y, luego, se deben considerar los secundarios.

Los mecanismos de desgaste primarios y secundarios se encuentran distribuidos en la industria en las siguientes proporciones:

Mecanismo de desgaste por Proporción de casos (%)

- Abrasión 50
- Adhesión 15
- Altas temperaturas 8
- Corrosión 5
- Otros 22

### **6.3. Hardfacing**

El desgaste de las piezas metálicas puede ser definido como una pérdida gradual del metal ocurrida en un cierto tiempo y mediante algún mecanismo que actúa sobre esta. Cuando la pieza o una parte de la misma se deforma y desgasta de tal manera que no puede trabajar adecuadamente, debe ser reemplazada o reconstruida. Mientras que los resultados finales producidos por el desgaste son similares, las causas que los producen son diferentes, por lo tanto es esencial entender dichos mecanismos involucrados antes de realizar la selección del material de recargue a utilizar.

El recargue antidesgaste en la capa superficial tiene por objeto, no solamente reconstituir la pieza usada, sino también aumentar su resistencia. El metal depositado es, entonces, diferente al metal base.

El interés que representa el recargue antidesgaste se explica fácilmente. En la actualidad, el constructor dispone de una abundante selección de aceros y aleaciones especiales capaces de constituir piezas de toda especie destinadas a trabajar en condiciones muy severas. Sin embargo, estos materiales son cada vez más caros, muchas veces de una elaboración compleja y, en general, insuficientemente dúctiles para poder construir enteramente las piezas de que se trata. Por consiguiente, limitando su empleo a aquellos lugares especialmente sujetos al desgaste, es decir, recargando localmente por medio de estas aleaciones especiales aceros ordinarios baratos y dúctiles, se llega a una solución

mucho más económica, al mismo tiempo que se reducen los tiempos muertos necesarios para la sustitución de la pieza usada.

Los electrodos antidesgaste se clasifican generalmente según la dureza del metal que depositan (Brinell, Rockwell o Vickers) No obstante, hay que tener en cuenta que la dureza sólo da una indicación muy relativa de la resistencia al desgaste. Un metal depositado más duro que otro puede resultar menos resistente al desgaste, dependiendo de la exposición a uno o varios de los siguientes factores: rodamiento, deslizamiento, abrasión, choques repetidos, erosión, corrosión y cavitación, entre otros. También se puede dar que recargues que presenten la misma dureza, a menudo registren comportamientos disímiles.

#### **6.4. Razones para la recuperación o el recubrimiento de piezas**

##### **6.4.1. Reducir costos.**

La aplicación de un material de recubrimiento a una pieza metálica desgastada, para proporcionarle una condición similar a la de una pieza nueva, constituye por lo general entre un 25 - 75% del costo de un repuesto nuevo.

##### **6.4.2. Prolongar la vida útil del equipo**

El recubrimiento extiende la vida útil de una pieza entre un 30 y un 300%, en comparación a una pieza no revestida.

##### **6.4.3. Menor pérdida de tiempo**

Gracias a la mayor duración de las piezas, se requieren menos interrupciones en el trabajo para reemplazarlas



#### **6.4.4. Reducción del inventario de repuestos**

No hay razón para mantener un gran stock de repuestos cuando existe la alternativa de recuperar las piezas devolviéndoles sus dimensiones originales.

#### **6.4.5. El recubrimiento y la recuperación de piezas se utilizan básicamente en dos áreas:**

##### **1.- La recuperación de piezas devolviéndoles sus dimensiones originales.**

Esto se logra mediante la aplicación sólo de capas de relleno o bien de relleno y de recubrimiento antidesgaste. En ambos casos, las propiedades de la pieza reacondicionada, son generalmente superiores a las de la pieza original. Por otro lado las piezas metálicas que permanecen en buen estado pueden volver a ser recuperadas una y otra vez, si se siguen los procedimientos adecuados. [10]

##### **2.- La protección contra el desgaste de piezas metálicas nuevas.**

La capa de recubrimiento antidesgaste, se utiliza tanto en piezas nuevas como también en usadas, en aquellas zonas donde las piezas son más susceptibles de desgaste. La capa final de alta aleación ofrece una resistencia superior al desgaste en comparación con la resistencia del material base original. Esto a menudo duplica o triplica la vida útil del componente en relación a una pieza que no ha sido recubierta. En algunos casos el recubrimiento puede aumentar el valor del equipo, pero esto se compensa empleando materiales base de menor costo. [10]

## **6.5 MECANISMOS DE DESGASTE**

El desgaste se define como el deterioro o daño de una superficie sólida, generalmente con pérdida de material, debido al movimiento relativo de dicha superficie en contacto con otra u otras sustancias. Puede producirse por un número de mecanismos específicos o presencia simultánea de varios de ellos.

El desgaste o deterioro gradual de la superficie puede ser causado por:

- Contacto directo con metales, aleaciones o piezas no metálicas como ocurre con los frenos de los vehículos
- Transmisión de esfuerzos a través de capas lubricantes como en los engranajes.
- Acción directa de partículas sólidas en movimiento.
- Deslizamiento o impacto de mezclas abrasivas a diferentes velocidades.[8]

### **6.5.1 Desgaste por Abrasión.**

Este tipo de desgaste ocurre cuando partículas angulares y duras penetran en la superficie del metal y este es removido por un número de mecanismos que dependen de la naturaleza del sistema. El principal de ellos es el micromaquinado de la superficie, el cual es ocasionado por las partículas duras que se comportan como pequeñas herramientas de corte. Además se introduce deformación plástica localizada y endurecimiento por trabajo que trae como consecuencia efectos de fatiga.

El mecanismo básico se fundamenta en dos causas: la formación de canaladuras impresas plásticamente, sin remoción de material y la separación de partículas de metal en forma de microvirutas.

El grado de abrasión depende de la naturaleza de las partículas abrasivas, su morfología y granulometría, tamaño y dureza, presión ejercida por la partícula sobre la superficie, concentración, ángulo de incidencia y la velocidad relativa abrasivo-superficie.

Si la dureza del abrasivo es muy alta, el desgaste es severo; si el abrasivo es más blando, la velocidad de desgaste es lenta y poco puede mejorarse endureciendo la superficie. Por

último cuando las durezas son similares, un leve cambio de valor de una de ellas puede aumentar considerablemente el desgaste. Para crear una situación estable, es prudente asegurar que la relación dureza material-dureza abrasivo sea superior al rango crítico. El patrón del desgaste varía con la naturaleza del medio abrasivo y con el nivel de tensiones actuantes.

El desgaste Abrasivo Corresponde al 55 ó 60% del desgaste de los componentes industriales. El desgaste abrasivo es en realidad un conjunto de problemas de desgaste y Se puede dividir en tres categorías principales: [4]

#### **6.5.1.1 Abrasión pura o de baja tensión**

Normalmente es el tipo de abrasión menos severa. El desgaste ocurre por deslizamiento de partículas moviéndose libres sobre una superficie, y las tensiones actuantes son bajas y no exceden la resistencia a la rotura del abrasivo.

En este tipo podemos observar las siguientes características:

- Abrasivo de granulometría fina – media. No se presenta impacto
- Ángulos de incidencia pequeños.
- Presiones bajas (Abrasivo sobre metal)

A mayor dureza del abrasivo respecto a la de la superficie metálica. Mayor será la tasa de desgaste. Esto no implica que cuando la partícula sea de dureza inferior al metal, este no se desgaste.

En este tipo de desgaste abrasivo el material es removido de la superficie a bajos ángulos de ataque por micromaquinado. De esta forma, los abrasivos con aristas vivas producen desgastes más severos. La dureza de la superficie minimiza la penetración del abrasivo y reduce la velocidad de desgaste. No hay limitaciones sobre la misma, puesto que por las

condiciones de baja presión no se requiere resistencia al impacto, y la tenacidad no es un requisito crítico. Pueden emplearse materiales frágiles de muy alta dureza [4]

#### **6.5.1.2 Abrasión de alta tensión o esfuerzo**

Conocida también como abrasión de tres cuerpos, se caracteriza por el hecho de que el elemento abrasivo, constituido por partículas pequeñas y que no impactan sobre la superficie de desgaste, se encuentran atrapadas y expuestas a elevadas presiones producto de la acción de dos superficies entre las cuales además existe movimiento relativo. El desgaste no se produce solo por penetración, sino también por deformación plástica de la matriz, con la consiguiente fractura de las fases duras y frágiles.

Aun cuando las cargas normales no sean necesariamente elevadas, los esfuerzos generadores sobre las superficies son grandes, muchas veces superiores al límite elástico del metal e incluso al punto de ruptura lo que conlleva la plastificación y/o el desprendimiento del material. Estas elevadas presiones son capaces también de fracturar los granos abrasivos, descomponiéndose estos en partículas de menor tamaño pero de aristas más agresivas.

A la condición de dureza de la superficie debe ahora agregarse un alto límite de fluencia que absorba las altas presiones de contacto. Por lo que para este tipo de desgaste, son importantes tanto la macro como la microdureza del material; es decir, debe haber resistencia a la indentación y a la deformación. El desgaste es el resultado del micromaquinado, la deformación plástica y la fatiga mecánica del elemento. [4]

#### **6.5.1.3 Abrasión por desgarramiento o arranque**

También conocida como Abrasión por penetración o Abrasión cortante. Se diferencia de la abrasión de alto esfuerzo en que el elemento abrasivo es de mayor tamaño y muchas veces existe impacto asociado al mecanismo de desgaste. Las presiones ejercidas sobre las superficies de desgaste son generalmente muy elevadas y la existencia de este

mecanismo se caracteriza por cuanto el deterioro superficial implica el desprendimiento de volúmenes macroscópicos del metal. La tasa de desgaste es en general elevada y se mide incluso en milésimas de sección o espesor perdido por día.

Las partículas de tamaño apreciable impactan la superficie bajo un ángulo determinado. La energía de impacto se transfiere al material, y hace que el abrasivo produzca grandes surcos y ralladuras apreciables a simple vista. En consideración a las condiciones de impacto, es obligación tener una razonable tenacidad en el material, por lo que normalmente debe sacrificarse la dureza en beneficio de ello. Aportes muy duros suelen traducirse en rápidos desgastes, como consecuencia de desprendimientos de material por fragilidad.

La acción penetrante y cortante implica una deformación plástica de las superficies. La deformación plástica superficial produce un endurecimiento que a su vez reduce la tenacidad puntual en el metal y ante nuevos esfuerzos dicha zona se desprende. [4]

### **6.5.2 Desgaste Metal – Metal**

También denominado desgaste por deslizamiento o por adhesión. El desgaste ocurre por desplazamiento o desgarro superficial del material, como consecuencia de un movimiento relativo entre dos superficies en contacto, y se manifiesta por pérdida de formas y desprendimiento de virutas.

Tal fenómeno se explica partiendo del conocimiento de lo que ocurre sobre dos superficies perfectamente pulidas que se deslizan en contacto. Si la observación se realiza en escala microscópica, las superficies aparecen rugosas y conformadas por una serie de valles y crestas. Al intento de deslizar una sobre la otra, aparece una fuerza de fricción que trata de evitar el movimiento, causada por la deformación de las asperezas en contacto. Esta fuerza causa soldaduras localizadas en los puntos en que se intersectan las crestas de ambas superficies. El deslizamiento continúa porque las asperezas se rompen en su punto más débil.

Cuando la microsoldadura ofrece menor resistencia al esfuerzo de corte que el metal base, el resultado es fricción por corte.

Si la microestructura es más resistente que alguno de los metales base, el resultado es fricción con soldadura, con partículas removidas del material más suave.

En caso de existir remoción de partículas del metal más suave, estas se van a adherir al metal más duro formando una especie de recubrimiento. Con el tiempo se producirá fricción entre dos metales idénticos.

Si la resistencia de la microsoldadura es mayor que la de uno u otro de los metales, se producirá el desprendimiento de partículas desde el metal menos resistente al corte. A la vez, dependiendo de las características de la superficie, se pueden producir desprendimientos de partículas del metal mas duro.

La velocidad de desgaste es función de un gran número de factores, de los cuales, los más importantes son: Cargas actuantes, velocidad, temperatura, área de contacto real y limpieza de las superficies. Una variable importante es la estructura metalográfica, puesto que los materiales de estructura similar poseen una mayor tendencia a las soldaduras localizadas.

El volumen de desgaste es proporcional a la carga aplicada y a la distancia relativa recorrida por las superficies en deslizamiento relativo.

El desgaste es más acusado cuando los materiales de similar estructura rozan bajo cargas con poca o sin lubricación. En estas condiciones, las partículas que se desprenden de una o de las dos superficies parecen metálicas y de gran tamaño, y el desgaste es severo, pues ocurre el fenómeno de abrasión. Operando bajo cargas livianas y bajas velocidades, lo que se genera es una fina partícula de metal oxidado, compuesta por las micropartículas desprendidas, y el desgaste es suavizado por la interposición de dicha partícula.

Si los dos materiales que rozan son de estructuras muy disimiles, es menos probable que ocurra el fenómeno de adhesión, y se reduce la susceptibilidad a este tipo de desgaste. No siempre es simple lograr estructuras muy distintas, por lo que se ocurre a lubricantes para separar y enfriar las superficies.

La habilidad de la superficie para formar películas laminares diferentes, por oxidación o desplazamiento de los microconstituyentes blandos, puede también reducir el desgaste por adhesión.

También se puede presentar una combinación de desgaste y combinación de desgaste y corrosión; ocurre bajo condiciones de movimiento relativo muy pequeño de dos superficies de desgaste con altas cargas acompañado por una formación de herrumbre u oxido metálico. Como un resultado del movimiento, se introducen partículas adherentes (desgaste adhesivo) y estas se oxidan (corroen). Este oxido produce desgaste abrasivo en las superficies. Este es un caso en donde las formas de desgaste adhesivo, corrosivo y abrasivo están todas presentes.

Es difícil indicar formas generales de vencer el frotamiento. Pero puede ser evitado eliminando el deslizamiento. Son útiles los lubricantes de película solida como una combinación de resina y bisulfuro de molibdeno, o un metal blando como el cambio, etc.

### **6.5.3 Desgaste por fatiga de Contacto**

Este desgaste, también llamado por rodadura, se presenta en elementos de maquina que están sujetos a contacto por rodadura, tales como rodamientos, ruedas o engranajes. Suele aparecer como una pérdida repentina de material de la superficie por picaduras o resquebrajamiento y estallido. Este mecanismo se atribuye a las cargas cíclicas que actúan sobre las dos superficies en contacto. Dicho fenómeno es similar al de falla por fatiga y está sujeto a un periodo de incubación anterior a la aparición del daño superficial.

En componentes que ruedan o ruedan y deslizan uno contra el otro, sometidos a altas presiones, muestran una sobrevivencia a la fatiga que depende, fundamentalmente, de las tensiones que actúan en sus superficies. Las altas tensiones superficiales causan la propagación de microfallas que pueden eventualmente unirse y provocar desprendimiento de partículas macroscópicas.

El "pitting" o falla originada en una fisura superficial generalmente ocurre sobre superficies duras en contacto, cuando existen rodadura y deslizamiento como en engranajes y levas, y el desprendimiento es generalmente de sección triangular, mostrando planos de salida escalonados. Un incremento en la dureza superficial del componente aumenta su resistencia al "pitting", porque disminuye la amplitud de la deformación cíclica que sufre en servicio. Cuando ésta ocurre sobre un elemento rotativo exhibe inicialmente una apariencia de punta de flecha.

El tipo de fatiga por contacto se origina como una fisura subsuperficial, en rodadura o con deslizamiento, ocurre cuando se alcanzan concentraciones de tensiones elevadas en planos interiores del elemento muy próximos a la superficie. Dicha fisura se propaga paralelamente a la superficie y aparecen fisuras superficiales subsidiarias. Estas fisuras menores, por último, se juntan, formando partículas de desprendimiento rectangulares que generalmente permanecen sostenidas en su posición original, pero que pueden, en ciertas circunstancias, desprenderse de la superficie.

#### **6.5.4 Desgaste por Deformación**

Se presenta entre metales cuando la superficie de una de las piezas en contacto es incapaz de soportar el esfuerzo a que es sometida, produciéndose una deformación plástica o aplastamiento que modifica su forma y las propiedades de la capa superficial, sin presentarse pérdida del material como en el desgaste abrasivo, adhesivo o de fatiga por contacto.



El caso mas común se presenta en los flancos de los dientes de los engranajes, los cuales son sometidos a tratamientos térmicos superficiales para aumentar la resistencia al desgaste. En estos casos ocurre muchas veces que el espesor de la capa endurecida es muy pequeña, o la resistencia de la capa subsuperficial es baja, con lo cual se hace imposible soportar el esfuerzo por contacto que le transmite el otro engranaje.

En este caso, el metal debe tener una resistencia al aplastamiento que supere a la tensión en ese plano, de lo contrario se producirán hundimientos de la capa dura y desprendimiento de la misma, por rotura de su base a causa de las tensiones de tracción emergentes en fallas secundarias, por mala elección de muy bajas durezas, las tensiones de compresión exceden el limite de fluencia del material y provocan deformaciones permanentes que llevan a la rápida destrucción del elemento por laminación.

#### **6.5.5 Desgaste por Erosión**

Este tipo de desgaste está íntimamente relacionado con la abrasión de baja presión, y resulta del impacto de un flujo de partículas solidas o liquidas sobre una superficie, transportadas por un fluido a alta velocidad. Este, es función de la energía cinética de las partículas y de la manera en que dicha energía se disipa cuando se produce el impacto.

Las superficies de los metales dúctiles tienden a sufrir indentación o acanaladura, pero, sobre materiales frágiles, la energía de las partículas se disipa por propagación de fisuras.

La magnitud del daño depende del tamaño, forma y concentración de las partículas, de la velocidad y del ángulo de impacto, siendo este ultimo el más crítico para la selección del material.

Pruebas de laboratorio arrojaron conclusiones interesantes respecto a la importancia del ángulo de incidencia. Considerando una aleación dúctil, se observo que entre los 10° y 40° de incidencia, la tasa de desgaste es elevada. Sin embargo para ángulos mayores de 50° la misma se reduce bastante.

La explicación de este fenómeno se basa en que para ángulos pequeños, el abrasivo tiende a rasgar el material, sobrepasando los esfuerzos generados el límite elástico de este acero, deformado y produciendo posteriormente el desprendimiento. Para ángulos mayores a  $50^\circ$ , el abrasivo con gran energía cinética con relación a su masa, somete al material a un grado de impacto. Sabido ya es que un material tenaz y/o dúctil, tiene buenas propiedades de absorción de la energía que transmiten las partículas al impacto.

En un material extra duro, o ángulos de incidencia grandes, se producirá la microfisuración del mismo, debido al chorro erosivo, ya que no podrá absorber la energía de las partículas en proyección.

En general para bajos ángulos de impacto, el desgaste ocurre como resultado del micromaquinado, y su velocidad depende fundamentalmente de la dureza superficial, tal como en la abrasión de baja presión. Con ángulos de impacto mayores, las partículas erosivas causan deformaciones al chocar contra la superficie, y pueden provocar astillamientos. Para ello, el material debe tener gran capacidad para absorber energía sin deformación plástica ni fisuras, como condición esencial para este tipo de desgaste. Los elastómeros y polímeros dan los resultados mejores en ese caso, por su bajo módulo elástico y alta resistencia. Se concluye que, en casos de erosión, es de suma importancia el diseño del elemento para lograr ángulos de ataque y velocidades favorables.

#### **6.5.6 Desgaste por Cavitación.**

Este desgaste es causado por la cavitación que esta definida como la generación y posterior implosión de burbujas de vapor producto de un cambio de velocidades en el fluido que implican cambios de presión hidráulica en el sistema. La burbuja es generada cuando la presión baja los niveles de presión de vapor del fluido. Estas burbujas comienzan luego a inestabilizarse, y llegan al colapso al ingresar en áreas de mayor presión. La continua implosión de burbujas causa tensiones cíclicas y fatiga en la superficie del material, que se manifiestan como un "pitting" superficial, que puede luego

actuar como un centro de nucleación para un eventual ataque corrosivo del medio líquido, especialmente cuando se rompe la película protectora.

Cuando el fluido se enfrenta a la restricción de flujo aumenta la velocidad produciéndose una inmediata baja en la presión.

Si el aumento de velocidad es extremadamente rápido y severo, la presión puede bajar a tal punto que alcance la presión de vapor propia del líquido. En este instante se produce la generación de burbujas.

En el instante en que dichas burbujas fluyen hacia el ensanchamiento del flujo, disminuyen su velocidad bruscamente y la presión aumenta fuertemente. Ello produce la brusca implosión de las burbujas lo que genera ondas de presión. Si la burbuja se encuentra cerca de una superficie metálica, la onda de presión impactará severamente sobre ella con solicitaciones que pueden incluso exceder el límite de cedencia del metal produciendo plastificación y desprendimiento.

#### **6.5.7 Desgaste por Impacto**

El mecanismo de desgaste por impacto se debe analizar empleando conceptos de transferencia de energía. El impacto se produce por la transferencia súbita de la energía cinética de un cuerpo simple sobre una superficie de extensión apreciable. El mecanismo más común involucra deformación superficial y subsuperficial del material, que altera su forma y dimensiones. Un mecanismo secundario es la fractura por fatiga debido a los impactos repetidos.

Para este tipo de desgaste el material debe tener tenacidad; pero dado que una pérdida de tolerancia dimensional puede ser crítica, debe también considerarse su resistencia a la deformación. La tenacidad de un material se puede definir como la capacidad que posee éste para soportar la sollicitación impuesta por una carga aplicada rápidamente. Ello

depende de varias variables, definidas a través de la curva Tension-Deformacion del material.

#### **6.5.8 Desgaste por Corrosión**

Es frecuente encontrar desgaste corrosivo en donde las piezas están en contacto con agua fresca o salina, en ambientes ácidos o básicos, o cuando las mismas están expuestas a gases a temperaturas normales o elevadas.

Se puede definir la corrosión como un ataque químico sobre un material del ambiente que lo rodea. Esta reacción química puede ser iniciada en varios fenómenos. Este tipo de desgaste ocurre en situaciones en las cuales una superficie en deslizamiento en el medio ambiente circundante interactúa químicamente con el. Si los productos de la reacción se desprenden de la superficie ocurre el desgaste corrosivo.

La primera etapa de este es el ataque corrosivo de la superficie. Cuando una superficie del metal está expuesta a un medio ambiente con el cual pueda reaccionar, hay una rápida reacción inicial, pero ésta disminuye con el tiempo. Asociada con la disminución esta la formación de una película coherente en la superficie, la cual separa las especies reactantes.

En algunos casos la reacción química se mantiene en marcha indefinidamente en su rata inicial, como ocurre con la corrosión del hierro.

El segundo paso del proceso de desgaste corrosivo consiste en el desgaste de la película producto de la reacción, como un resultado del deslizamiento que tiene lugar. Cuando esto ocurre, la superficie al descubierto esta expuesta, y el ataque corrosivo continúa. En la mayoría de los casos, los productos de la corrosión son más duros y más frágiles que la superficie en que se forman. La capa tiene la tendencia a ser muy resistente al desgaste, hasta cuando se mantiene delgada, pero tan pronto la capa corroída alcanza cierto espesor, se produce el desgaste.

Pueden ser definidos dos tipos básicos de corrosión, por oxidación y por corrosión electroquímica.

### **6.5.9 Desgaste por Choque Térmico**

El deterioro de un componente expuesto a elevadas temperaturas puede generalmente obedecer a una de las siguientes causales: Fatiga Térmica u Oxidación.

#### **6.5.9.1 Fatiga Térmica**

El agrietamiento por fatiga térmica se debe a la repetición de ciclos de calentamiento y enfriamiento en donde, si el componente tiene alguna restricción a su libre contracción o dilatación, se generan esfuerzos residuales considerables. A elevadas temperaturas (en función del metal), la resistencia al fatigamiento disminuye y en casos extremos, la fisuración se produce a las pocas horas que el componente ha entrado en servicio.

#### **6.5.9.2 Oxidación.**

En muchos casos, el deterioro del componente no se produce inicialmente por fisuramiento si no por escamacion de su superficie. Al estar esta expuesta a elevadas temperaturas y dependiendo de la composición química del metal base. Se pueden formar óxidos inestables y de pobre adherencia. Dado que la pieza esta sujeta a contracción y dilatación la escamacion o capa de elementos oxidados se desprende del metal base, oxidándose a continuación la superficie recientemente expuesta, en lo que constituye un proceso continuo de desgaste.

## **6.6 CLASIFICACION DE LAS ALEACIONES DE RECUBRIMIENTOS**

Hay diferentes tipos de aleaciones y de clasificaciones, la clasificación depende principalmente de los autores, de las normas o documentos relacionados con el tema. Para este capítulo se ha escogido clasificar las aleaciones en cuatro grupos principales: aleaciones de base hierro con menos del 20% de aleación, aleaciones de base hierro con más del 20% de aleación, aleaciones no ferrosas y aleaciones en base a carburos.

### **6.6.1 Aleaciones de base hierro con menos del 20% de aleación.**

Las aleaciones de este grupo se caracterizan por ser las de menor costo y comúnmente se encuentran disponibles en forma de electrodos.

Se pueden alcanzar durezas elevadas, hasta 56 HRC y exhiben una tenacidad satisfactoria por lo que son adecuadas en aplicaciones expuestas a impacto severo.

Su composición química se caracteriza por contener Cr (1 – 5) % el cual es el principal elemento aleante; C (0 – 2) % y pequeños porcentajes de Mo, Mn y W.

Estas aleaciones responden a tratamientos térmicos, por lo cual es posible obtener variedad de durezas y propiedades mecánicas.

#### **6.6.1.1 Aceros Aleados Martensíticos**

En este grupo encontramos aceros martensíticos de alto carbono y bajo carbono.

Los aceros martensíticos de bajo carbono, poseen aproximadamente 0.2 % de C aleado con Cr y Mo. Desarrollan una dureza de 400 HV. Aceptan deformación sin agrietarse, tienen buena tenacidad. Son útiles para reconstrucciones, por su dureza también se pueden emplear como protecciones, siempre que la abrasión no sea causa principal de desgaste. Se usan en servicios de impacto, rodadura y deslizamiento.

En los aceros martensíticos de alto carbono, su composición es de C (0.7 – 1) % con hasta 7% de Cr.

Los depósitos son los más duros obtenibles con acero. Ofrecen buena resistencia a la abrasión y excelente resistencia al desgaste metal - metal. Generalmente no son maquinables en condiciones As Weld. No desarrollan fisuras

#### **6.6.1.2      Aceros Inoxidables Martensíticos**

Poseen de 0.05 a 0.1 % de carbono y aproximadamente 450 HV. Son similares a los aceros de herramientas.

Las durezas que se obtienen son superiores pero con mayor tenacidad con relación a los aceros rápidos. Poseen buena resistencia a la corrosión y pueden utilizarse en servicios a temperaturas elevadas y también en depósitos que requieren dureza y resistencia a la corrosión.

#### **6.6.1.3      Aceros Rápidos.**

Los depósitos de este material tienen alto contenido de Martensita, Austenita y Carburos que no son completamente insolubles. El molibdeno es utilizado para remplazar el Tungsteno en los aceros de herramientas.

El Molibdeno es de menor peso atómico que el tungsteno (aproximadamente la mitad), esto produce dos veces mas átomos de elementos aleantes en el acero que en el tungsteno cuando es agregado en el mismo porcentaje de peso. Por esta razón un porcentaje de molibdeno puede substituir aproximadamente dos porcentajes de tungsteno.

El contenido de carbono en los aceros rápidos está en un rango muy limitado. Porcentajes de carbono inferiores al 0.5 % no permite el máximo de dureza debido a la presencia de alta cantidad de ferrita.

Al aumentar el contenido de carbono, aumenta la dureza ya que disminuye la ferrita disolviéndose esta en austenita. El cromo se encuentra entre 3 a 5 %, siendo esta la cantidad adecuada para que haya buena dureza y tenacidad. El carbono y cromo son los principales responsables de la dureza del depósito.

La dureza de estas aleaciones esta entre 55 y 60 HRc. Para poder mecanizar estos depósitos se necesario disminuir la dureza a 30 HRc y esto se puede lograr mediante un tratamiento térmico que es el recocido.

La dureza a elevadas temperaturas es una propiedad muy importante. El molibdeno y tungsteno son los elementos responsables de dicha propiedad. A temperaturas de 595 °C (1100 °F) la dureza de estos depósitos disminuye lentamente de 60 a 45 HRc. A temperaturas mas altas disminuye mas rápidamente. Cerca a los 650 °C (1200 °F) la máxima dureza es de 30 HRc.

Estos depósitos están en el punto medio en lo que se refieren al impacto.

Por causa del alto contenido de molibdeno se oxidan fácilmente.

La resistencia a la abrasión de estos depósitos es mucho mejor que la de los aceros de bajo carbono, pero estos no son considerados como aleaciones de alta resistencia a la abrasión.

A temperaturas de 595 °C presentan buena resistencia a la deformación, característica que ayuda a la resistencia a la abrasión en cliente.



Combinan óptima tenacidad con excelente resistencia a la deformación y por ello son indicados para la construcción de filos cortantes de herramientas. Son altamente magnéticos.

Para el desgaste metal-metal estos depósitos son favorables especialmente a elevadas temperaturas. Ellos tienen bajo coeficiente de fricción y mantienen la dureza a temperaturas elevadas. La resistencia a la compresión es muy buena, aumenta o disminuye de acuerdo a la temperatura utilizada.

#### **6.6.1.4 Aceros Austeníticos al Mn**

Son aleaciones hierro-carbono con un contenido de carbono de 1 a 1.4 % y de manganeso de 10 al 15 % de manganeso, manteniendo una relación  $C : Mn = 1 : 10$ .

El principal constituyente de estos depósitos es la austenita, la cual es la responsable de las propiedades de los depósitos. Los porcentajes de manganeso en la aleación retardan la transformación de la austenita, la cual es retenida a temperatura ambiente a través de un enfriamiento brusco de la fundición durante su manufactura.

Al conservar la estructura austenítica en frío, este es un acero no magnético y endurece considerablemente al deformarse plásticamente.

Dado al alto contenido de carbono de estas composiciones su endurecimiento es bastante mas pronunciado que el producido en otras estructuras austeníticas.

La dureza inicial de un depósito de acero al manganeso, efectuado mediante procesos de arco eléctrico, es de 15 a 25 HRc. Sometidos a impactos severos y después de considerable deformación plástica, este acero puede alcanzar los 50 e incluso los 55 HRc de dureza.

La selección de los aceros al manganeso es apropiada para el revestimiento de componentes expuestos al desgaste metal-metal e impactos. La resistencia al desgaste metal-metal y al impacto es excelente. Buena resistencia al desgaste, pero solamente cuando esta sometido a trabajo de impacto. No son resistentes a la corrosión y oxidación.

Si se especifica incorrectamente la utilización de este tipo de aceros en piezas expuestas a abrasión de bajo esfuerzo, dado que no existe un grado de impacto que produzca la deformación plástica requerida para el endurecimiento, el acero al manganeso se desgastará rápidamente si el abrasivo es de dureza alta.

El mecanizado es muy difícil con herramientas y equipos ordinarios.

#### **6.6.1.5      Aceros Austeníticos Al Mn – Ni**

Al agregar níquel a los aceros al manganeso en una cantidad establecida, aparentemente no se producen cambios en su resistencia, pero en realidad tiende a un aumento.

Un tratamiento de temple es necesario para obtener máxima tenacidad. El bajo contenido de carbono es mucho más efectivo para obtener tenacidad sin temple. Al agregar níquel cuando hay bajo contenido de carbono aumenta la tenacidad.

En estas aleaciones encontramos porcentajes de carbono entre 0.5 a 0.9 % y porcentajes de níquel entre 3 y 5 %.

#### **6.6.1.6      Aceros Austeníticos al Mn – Mo**

La adición de molibdeno a los aceros al manganeso tiende a aumentar su resistencia. Como el níquel, este incrementa la tenacidad cuando hay bajo contenido de carbono. Aproximadamente del 3 al 5 % de níquel o 0.5 al 1.5 % de molibdeno estabilizarán la resistencia a la tensión a unos 120000 psi por medio de un tratamiento térmico, en los aceros de bajo contenido de carbono.

### **6.6.2 Aleaciones de base hierro con mas del 20% de aleación**

En estas aleaciones encontramos contenido de cromo entre 10 y 40 % (un valor promedio de 33 %) y elevado contenido de carbono (2 a 6 %).

Esto posibilita la formación del microconstituyente duro principal que es el carburo de cromo, el cual es responsable de las propiedades antidesgaste del depósito, especialmente contra la abrasión. Debido a los altos porcentajes de cromo estos, depósitos exhiben buena resistencia a la corrosión.

Normalmente se encuentran otros elementos en bajos porcentajes como Mo, W, Ni y Mn. La dureza de estas aleaciones fluctúa entre los 55 y los 70 HRc.

La resistencia al impacto es moderada o muy baja a medida que aumenta la dureza del depósito. Su aplicación principal consiste en la protección de elementos expuestos a abrasión y desgaste por erosión.

Otras características antidesgaste de este tipo de depósito con sus propiedades refractarias debido al alto contenido de cromo.

#### **6.6.2.1 Aceros austeníticos al Cr-Mn**

Estos aceros contienen aproximadamente 16 % de cromo y 14 % de manganeso. Poseen excelente resistencia al desgaste metal – metal, y al desgaste por impacto. La resistencia a la abrasión es moderada y puede emplearse directamente sobre aceros al carbono sin riesgos de formación de fases frágiles.

El porcentaje de carbono es en promedio 0.35 y la dureza de estos depósitos es de 54 HRc. Pueden contener molibdeno y vanadio.

#### **6.6.2.2 Aceros Rápidos.**

Existen en un gran numero de composiciones, pero todos contienen tungsteno, cromo, molibdeno y vanadio ya sean juntos o por separado. Poseen aproximadamente 10 % de cromo y 15 % de tungsteno, y su dureza fluctúa en los 60 HRc.

Un grupo de aceros rápidos para herramientas se incluyen en estos. Se usan principalmente para filos de herramientas de mecanizado.

#### **6.6.2.3 Aceros inoxidables Austeníticos.**

Su composición química esta basada en carbono, cromo, molibdeno y níquel. Con 20 % de cromo y 10 % de níquel.

Tienen buena resistencia al impacto pero muy baja resistencia a la abrasión. Se emplean principalmente para enmantequillar aceros al carbono o de baja aleación, hay unos que se emplean para posteriores depósitos de acero de alto manganeso o aleaciones frágiles. Tienen excelente resistencia a la corrosión, pero cuando esta no se presenta como un fenómeno aislado.

#### **6.6.2.4 Aleaciones al cromo austeníticas y martensíticas.**

Estas aleaciones están dispuestas en forma de varillas fundidas que contienen partículas de carburo de cromo y pueden obtenerse también como electrodo revestido con alma de acero al cromo o acero dulce con la aleación en el revestimiento.

La soldadura por arco eléctrico es utilizada para materiales pesados y de grandes áreas. La soldadura oxigas es utilizada para secciones delgadas.

La dureza del metal de soldadura depositado por oxiacetileno varía con el contenido de carbono. El promedio de dureza de unos productos a los que se les realizaron pruebas de

dureza el resultado fue de 56.1 HRc en un rango de 51 a 62 HRc, representando un rango de 4.3 a 5.2 % de Carbono. Los valores de macrodureza aumentan al aumentar el carbono.

Las matrices de austenita endurecen un poco ante el impacto, pero consecuentes deformaciones pueden provocar agrietamiento, por eso es mejor evitar los servicios a impacto.

La dureza disminuye al aumentar la temperatura entre 800 a 900 °F y de ahí en adelante disminuye rápidamente. La dureza instantánea es de 43 HRc y 3 minutos bajo carga causará una caída de a 37 HRc.

Estos depósitos pueden soportar altos impactos sin agrietarse, pero si se produce deformación plástica se formaran fácilmente grietas. Son rara vez usados en condiciones de impactos medios y son generalmente considerados poco convenientes para impactos fuertes.

El alto contenido de cromo confiere excelente resistencia a la oxidación y a 1800 °F y ellos pueden ser considerados para aplicaciones de alto desgaste. El contenido de cromo de la matriz es bajo, por lo cual no es resistente a la corrosión.

Las fundiciones austeníticas tienen excelente resistencia a la abrasión y esta relacionado con el volumen y dureza de carburos. Esta resistencia es superada solo por los carburos de tungsteno. Para la combinación de desgaste por abrasión e impacto, las fundiciones martensíticas son las mas adecuadas y admiten un mejor grado de impacto, en cambio las austeníticas no.

La abrasión de baja presión produce pulimiento ocasionando un bajo coeficiente de fricción. Cuando el pulimiento es producido por el desgaste metal-metal, el funcionamiento es bueno. La resistencia al rozamiento es considerada buena ya que el temple producto del calor por el rozamiento es despreciable. La austenita está propensa al rozamiento y la

presencia de esta puede llevar a un funcionamiento poco favorable. En fin el desgaste metal-metal puede ser aprovechado cautelosamente.

La compresión de estos depósitos tienen un esfuerzo efectivo en 80000 y 140000 psi y un esfuerzo último de 150000 a 280000 psi.

Estas aleaciones mostraron por encima del 1% de deformación elástica y una tolerancia de 0.5 a 3 % adicionales de deformación plástica antes del deterioro final. Estos depósitos son comercialmente considerados como inmaquinables con herramientas de corte y son también difíciles de pulir.

Estas fundiciones suelen identificarse como aleaciones de carburo de cromo. Contienen en promedio 30 % de cromo, y la microestructura del depósito consiste en carburos de cromo en una matriz que puede ser austenítica, martensítica o combinación de ambas, dependiendo de la composición.

Los carburos  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ , tienen valores de dureza en la escala de diamante o en la vickers de aproximadamente 2000. Son mas duros que el cuarzo y esto les confiere resistencia a la abrasión por rayadura para los materiales mas comunes. Las matrices de austenita son blandas y algo plásticas. La austenita es rica en carburos sueltos como soldadura.

La estructura y las propiedades del revestimiento puede modificarse con los métodos de soldadura y las tasas de enfriamiento.

### **6.6.3 Aleaciones no ferrosas.**

También son conocidas como superaleaciones, ya que son aleaciones diseñadas para mantener alta resistencia a elevadas temperaturas. Estas aleaciones tienen también alta resistencia a la corrosión y oxidación.

#### **6.6.3.1 Aleaciones cobalto-cromo-tungsteno.**

Se caracterizan principalmente por poseer la cualidad de mantener dureza a elevadas temperaturas. Son utilizados en aplicaciones donde dureza y resistencia a la abrasión se necesitan, pero donde la resistencia al impacto no es muy importante.

Las aleaciones CoCr-C pueden ser usados para resistencia al desgaste en servicios donde la precisión y calidad son muy importantes, no obstante la dureza y el volumen de carburos son muy significativos. Los depósitos con oxigas se espera que tengan una dureza de 55 HRc, lo cual es comparable con la dureza de los aceros austeníticos al cromo. Los depósitos por soldadura de arco son más favorables.

Muchas aleaciones se ablandan permanentemente al ser calentadas a temperaturas altas. Estas aleaciones son la excepción. Su dureza puede disminuir al calentarse, pero ellas regresan a su dureza original al enfriarse. Es decir son inmunes a la temperatura.

La resistencia y dureza a elevadas temperaturas son propiedades sobresalientes de este grupo. Ellas generalmente son consideradas superiores a otras aleaciones donde esas propiedades son requeridas sobre los 1200 °F. en el rango de los 1000 a 1200 °F sus ventajas no son muy evidentes y por debajo de los 1000 °F otras clasificaciones pueden ser mejores.

A temperaturas entre los 1000 a 1200 °F los depósitos de soldadura de esta aleación tienen mas resistencia al creep que otras aleaciones. Esta distinción y su dureza a 1200 °F y por encima, son la principal razón para su uso en muchas aplicaciones.

La resistencia al impacto incrementa con el contenido de carbono. Estos depósitos son frágiles y se agrietan cuando ocurre impacto.

La presencia por encima del 25 % de cromo promueve la formación de una capa delgada bajo condiciones de oxidación. Para depósitos de esta aleación a temperatura sobre 1800

°F. Estos depósitos son reconocidos como inoxidables y son usados donde la abrasión y corrosión están involucrados. Ellos pueden ser considerados resistentes a la corrosión en medios menos severos y en aire y ellos pueden tener buena resistencia ante corrosivos como nítrico, acetílico, fórmico, acético, sulfúrico y tricloracetílicos. Sin embargo una aplicación que involucre corrosión está bajo consideración, declaraciones generales sobre corrosión pueden ser confirmados por pruebas, si es posible.

El contenido de carbono es el responsable de la abrasión. Con el 1% de carbono, el funcionamiento es inferior al de los aceros al carbono. con el 2.5 % de carbono, la resistencia a la abrasión de alta presión es buena.

Las aleaciones CoCr son favorables para el desgaste metal-metal por su habilidad para obtener gran pulimento y bajos coeficientes de fricción.

Ninguno de estos depósitos son fácilmente maquinables y las dificultades aumentan con el incremento del contenido de carbono. Sin embargo, estos depósitos son regularmente maquinables, con herramientas especiales.

El contenido de cromo en estos depósitos es de 25 a 33 %, lo que le da resistencia a la oxidación, y 3 a 14 % de tungsteno, lo que promueve resistencia a altas temperaturas, el cobalto como base da resistencia a la corrosión. El carbono es un elemento importante que contribuye con la resistencia, y en combinación con el cromo, forman carburos duros que promuevan la resistencia a la abrasión.

#### **6.6.3.1.1 Aleaciones hipoeutécticas cobalto-cromo-tungsteno.**

Estas aleaciones contienen carburos finos  $(Co,Cr)_7C_3$  en una estructura eutéctica y una matriz tenaz de máxima capacidad de endurecimiento por trabajo mecánico. La resistencia al shock térmico y al impacto se reduce en un 50 % respecto a otras aleaciones, no obstante se emplean por su bajo costo.



#### **6.6.3.1.2 Aleaciones hipereutécticas cobalto-cromo-tungsteno.**

Estas aleaciones contienen carburos primarios y eutécticos  $(Co,Cr)_7C_3$  finamente dispersos, por lo que proporcionan buena resistencia al desgaste por abrasión.

Su dureza excede a los 56 HRC. Son los de mas baja resistencia al impacto y al shock térmico de la serie de las aleaciones de cobalto, pero sus propiedades mecánicas son próximas a los aceros para herramientas.

La dilución de depósitos de soldadura por arco eléctrico sobre elementos de acero dulce, causa una reducción de dureza y un aumento de tenacidad lo cual es ventajoso en condiciones de servicio con impactos pesados.

#### **6.6.3.2 Aleaciones a base de níquel**

Estas aleaciones a base de níquel son importantes por su resistencia al calor y la corrosión, contienen relativamente altos porcentajes de cromo y poco de carbono. su dureza y resistencia a la abrasión crece con el contenido de cromo, boro y silicio. Su resistencia en caliente y resistencia a la abrasión son algo menores que las aleaciones a base de cobalto.

Una clase de estas aleaciones a base de níquel son la de NiCr. La dureza de los depósitos de NiCr-A y NiCr-C aumenta, pero la maquinabilidad y tenacidad disminuyen. La selección se basa generalmente en consideraciones sobre estos factores.

Los depósitos de metal NiCr, tienen buena resistencia al desgaste metal-metal, buena resistencia a la abrasión, resistencia a la corrosión y mantienen la dureza a temperaturas elevadas. Esta aleación aumenta el valor de su dureza cuando presentan considerable

hierro diluido. Estos metales de relleno son usados normalmente por sus propiedades de dureza, entonces esto puede implicar mas resistencia al impacto de la que poseen.

Los depósitos de NiCr resistirán bajos impactos. Sin embargo si los golpes de impacto producen deformación plástica, aparecen grietas en las aleaciones NiCr-C y es menos probable que aparezcan depósitos de NiCr-A y NiCr-B.

Son resistentes a la oxidación a temperaturas de 1800 °F por su alto contenido de níquel y cromo. Sin embargo puede ocurrir una fusión incipiente a temperaturas cercanas a esta. El uso de esto sobre los 1750 °F no es recomendable.

La resistencia a la corrosión causada por la atmosfera, el agua salada y el vapor es buena. Ellas son también a ácidos suaves y a corrosivos químicos. Sin embargo, si una aplicación involucra corrosión se debe tener cuidado. Es bueno realizar pruebas.

Las clasificaciones de alto carbono, NiCr y otros grupos tienen excelente resistencia a la abrasión de baja presión y son favorables donde la abrasión y corrosión están combinadas. La resistencia a la abrasión aumenta al disminuir el contenido de carbono. Estos depósitos no son recomendados para abrasión de alta presión.

La resistencia al desgaste metal-metal es excelente y adquieren alto pulimento bajo este desgaste. Son particularmente resistentes al rozamiento. Las propiedades mecánicas en compresión no son favorables.

Estos depósitos pueden ser maquinados con herramientas de carburo de tungsteno.

La microestructura de los depósitos de NiCr consisten en cristales cúbicos de carburos de cromo e islas globulares de boruros de cromo en una matriz eutéctica de níquel.

Para prevenir el agrietamiento pueden aplicarse depósitos de ese metal en hierro duro y aleaciones de acero y pueden usarse tratamientos de precalentamiento y poscalentamiento. Todas las aleaciones duras pueden ser precalentados de 600 a 800 °F.

#### **6.6.4 Aleaciones de carburos.**

Están compuestas por carburos de tungsteno, vanadio y titanio, siendo el mas utilizado el carburo de tungsteno.

Las partículas de carburos de tungsteno tienen la más alta dureza de todos los materiales que pueden depositarse mediante soldadura.

Un depósito de carburos de tungsteno es uno de los mas resistentes a la abrasión, entre los materiales para revestimientos duros, pero tienen baja resistencia la impacto.

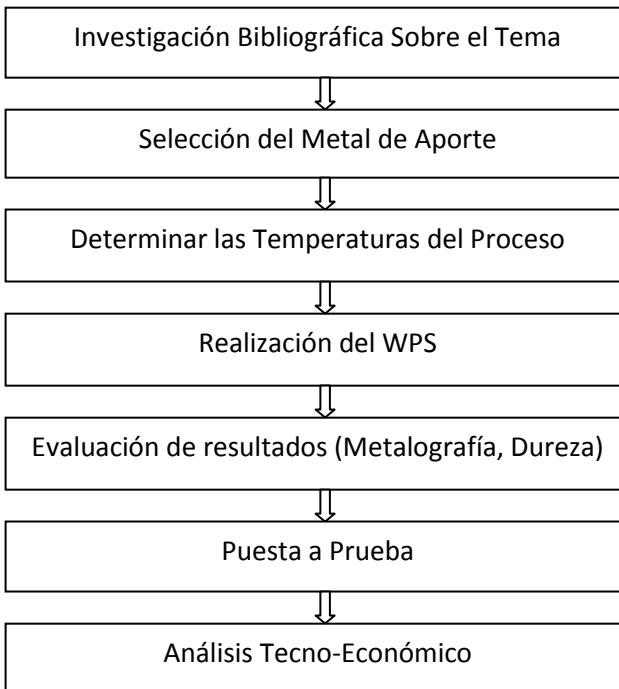
Los carburos se encuentran disponibles para ser aplicados en varillas oxiacetilénicas, al arco eléctrico en donde es normal que el carburo se encasilla en una camisa metálica delgada, como micropolvo en forma de insertos.

En los procesos metalúrgicos los carburos deben fijarse, mediante una matriz que puede ser ferrosa o no ferrosa y con durezas que fluctúan entre los 25 y 60 HRc. Debido al alto punto de fusión del tungsteno, éste no se funde sino que se adhiere a la matriz.

Este grupo ofrece la máxima resistencia a la abrasión de alta presión.

La tenacidad de los carburos es nula. Su resistencia a otros grados de abrasión quedara definida por las características de la matriz en la cual se encuentran fijadas. Las dimensiones de los granos de carburo de tungsteno varia desde 0.002 hasta 3 mm. Y las varillas generalmente contienen granos de distintos tamaños en función de las condiciones de servicio.

## 7 DISEÑO METODOLOGICO.



## 8 RESULTADOS

De acuerdo a lo planteado en este estudio, a continuación se presentan los resultados y el análisis de cada uno de los pasos realizados para la recuperación del difusor de pasta (calavera) por soldadura.

### 8.1 Material Base (Calavera)

El difusor de pasta (calavera) esta fabricado en acero AISI - SAE 4140 templado y revenido, y posee dimensiones físicas características.

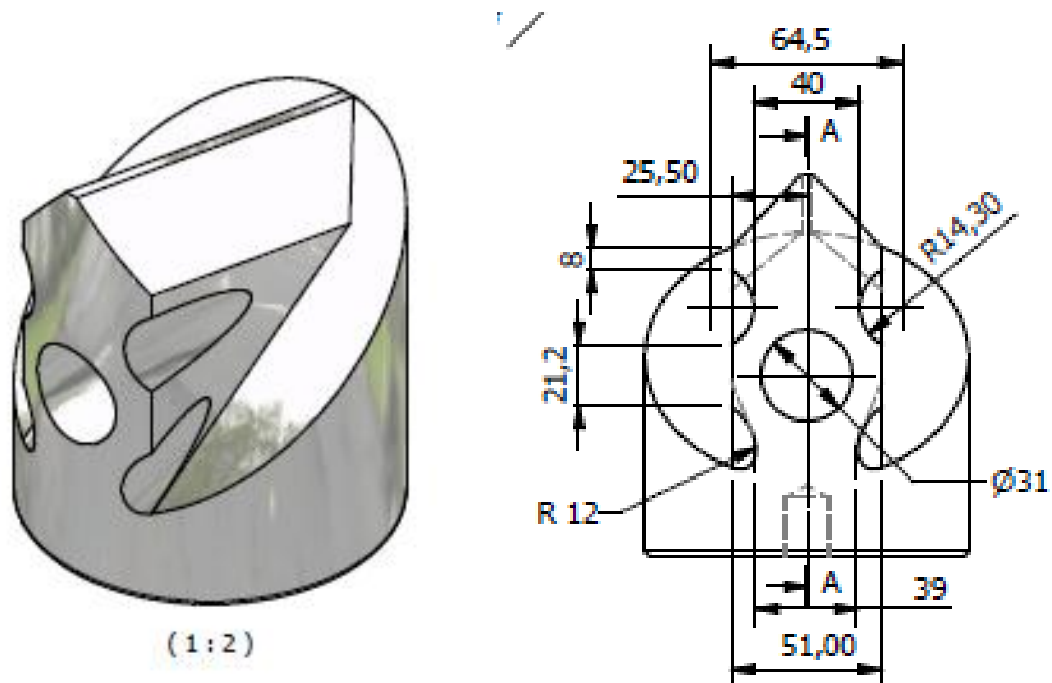


Figura 1 Distribuidor de Pasta (calavera) y sus dimensiones físicas.

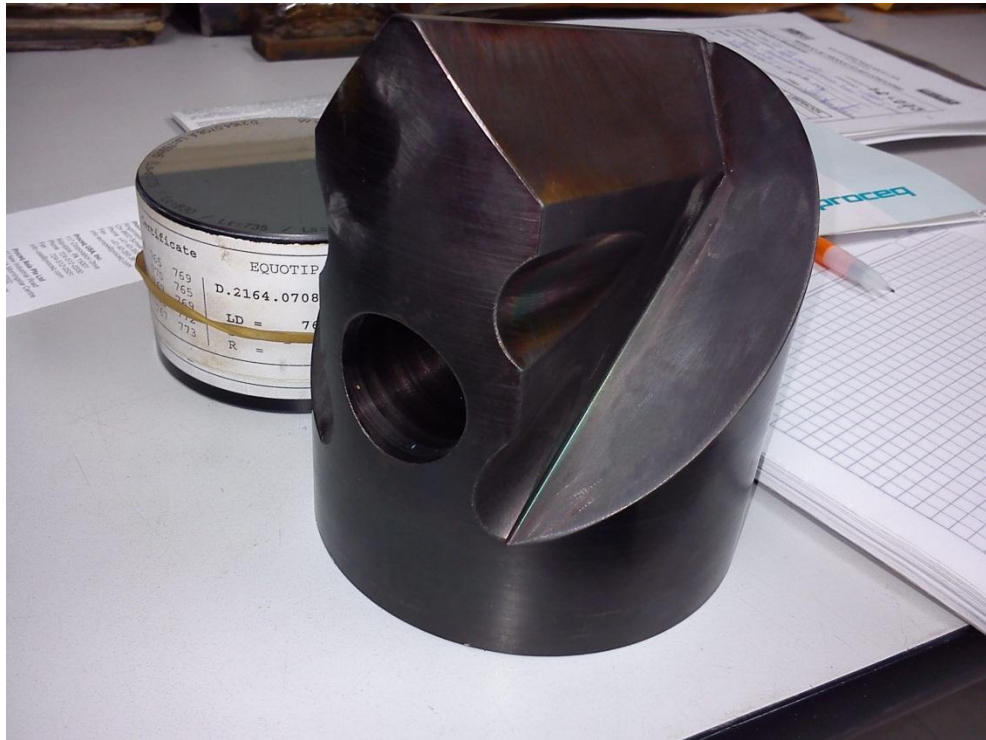


Foto 1 Distribuidor de Pasta (calavera)

El acero AISI 4140 es un acero de medio carbono aleado al cromo-molibdeno. El 4140 es uno de los aceros de baja aleación mas populares por el espectro amplio de propiedades útiles en piezas que se someten a esfuerzo, con relación a su bajo costo. Al templearlo se logra muy buena dureza con una gran penetración de la misma, teniendo además un comportamiento muy homogéneo. Tiene también una buena resistencia al desgaste.

### **Propiedades Nominales del Acero AISI 4140**

Composición Química.

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P máx.</b>	<b>S máx.</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>
0.38- 0.43	0.15- 0.35	0.75- 1.00	0.035	0.040	0.80- 1.10	0.15- 0.25

### Propiedades Mecánicas.

<b>PROCESO Y ACABADO</b>	<b>RESISTENCIA A LA TRACCIÓN</b>	<b>LÍMITE DE FLUENCIA</b>	<b>ALARGAMIENTO EN 2%</b>	<b>REDUCCIÓN DE ÁREA %</b>	<b>DUREZA BRINELL</b>
	Ksi	Ksi			
TEMPLADO Y REVENIDO*	170	159	16	50	341

### Propiedades Medidas Directamente de la Calavera.

#### Composición Química:

La composición química del distribuidor de pasta (calavera) fue tomada de una sección extraída de la calavera y analizada con un espectrómetro de emisión óptica por chispa referencia ARL-QUANTRIX de THERMO.



Foto 2 Muestra Extraída de la calavera

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>
0.38	0.32	0.98	0.02	0.01	1.04	0.22	0.10

Dureza:

La dureza fue tomada con un durómetro portátil y el resultado promedio de los resultados de dureza fue de 31.6 HRc entre un rango de resultados de 29.4 – 32.7 HRc



Foto 3 Medición de Dureza de la Calavera

Después de los análisis realizados al distribuidor de pasta (calavera) se puede determinar que el resultado de dureza y análisis químico se encuentran entre los valores nominales del acero AISI 4140.

## 8.2 Tipo de Desgaste.

En la fabricación de electrodos revestidos uno de los procesos mas claves es la extrusión, el proceso es donde se unen el revestimiento con el núcleo.

El revestimiento del electrodo (pasta) que a esta parte del proceso llega en tacos aproximadamente de 20 cm de diámetro y 30 cm de alto, es una mezcla de minerales (Sílice, Rutilo, Mica, etc.) ferroaleaciones (Ferrocromo, Ferromolibdeno, Ferrosilicio, etc.) y



materiales orgánicos (Celulosa, Goma Arábica, etc.), altamente abrasivos por su composición y características físicas de cada uno de los materiales.

Las prensas usadas en la extrusión de electrodos revestidos son de tipo "RAM" o de pistón. En donde el pistón se usa para llevar la pasta a través de la contracción estacionaria o dado para darle una dirección y una reducción de diámetro a la pasta. En la figura 2 se muestra el tipo de prensa.

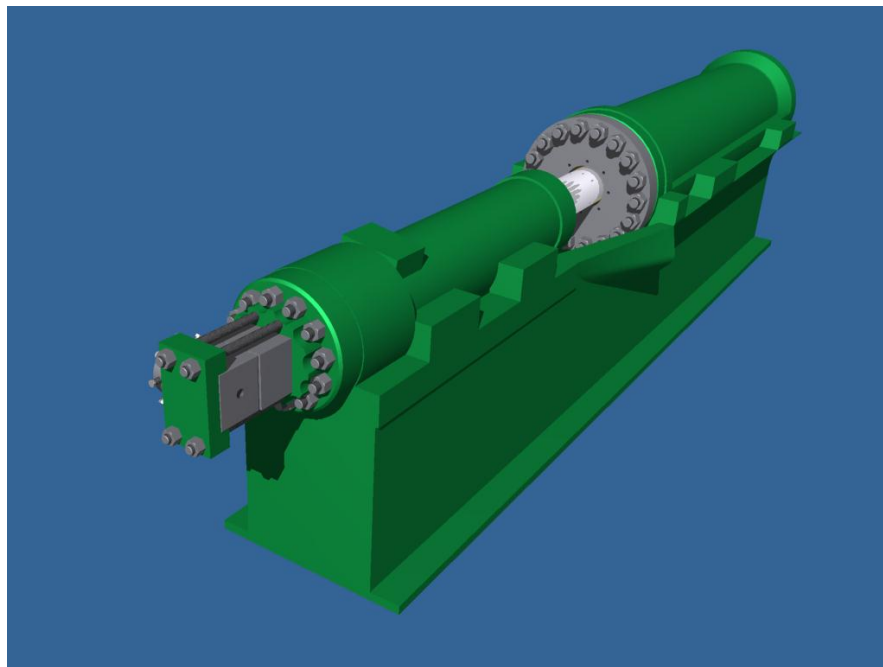


Figura 2 Prensa de Extrusion

El difusor de pasta (calavera) va dentro del cabezote secundario que va inmediatamente posterior al cabezote primario. La calavera es la encargada de darle el cambio de giro al flujo de la pasta y dividirlo para recubrir completamente la guía transportadora de varillas, que va dentro de la calavera, y de este modo garantizar que cuando la pasta y la varilla se unan en el dado cónico, la varilla quede completamente recubierta. En las fotos 4 y 5 se muestran la posición del cabezote primario y el secundario respectivamente.

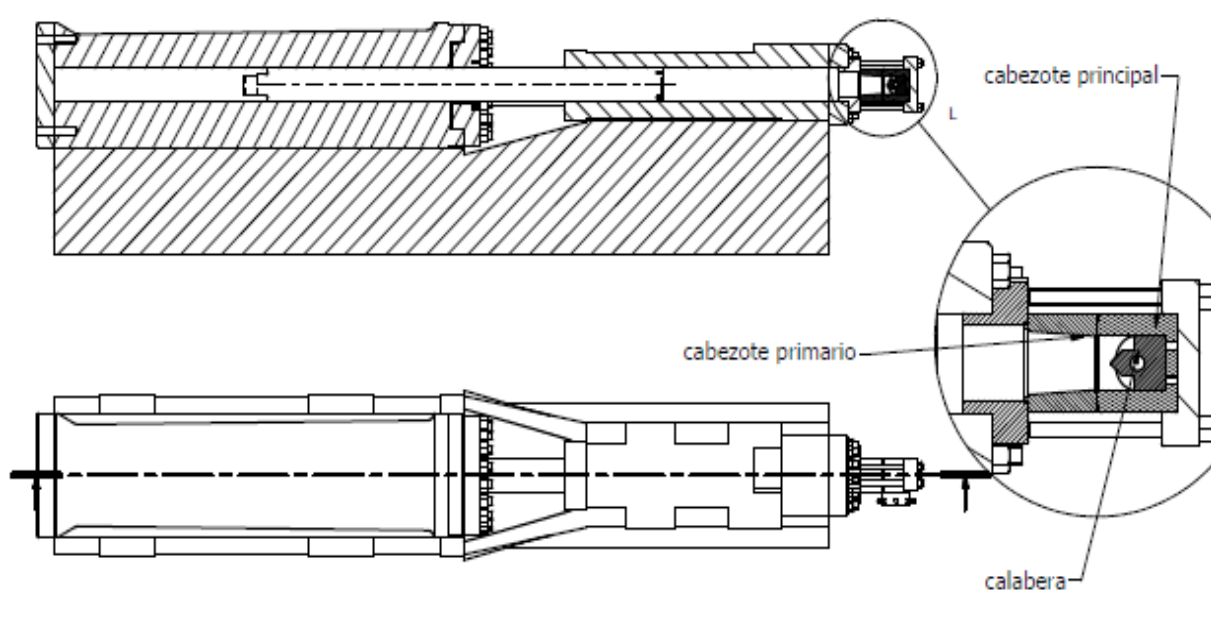


Figura 3 Vista Superior Prensa



Foto 4 Cabezote Primario.



Foto 5 Posición Cabezote secundario con vista de la guía Transportadora de varillas

Como se puede analizar por las características abrasivas y granulometría fina de los materiales que componen la pasta y la presión emitida por el embolo para forzarla a fluir por entre el cabezote secundario y la calavera. Se determina que el tipo de desgaste es por Abrasión a alta presión y practicamente nulo desgaste por impacto. En las fotos 6 y 7 se muestra el flujo de la pasta por entre el cabezote secundario y la calavera antes de entrar al dado conico.





Foto 6 Flujo de la Pasta sin Movimiento



Foto 7 Flujo de la Pasta en Movimiento

En la foto 8 se muestra la prensa armada completamente.

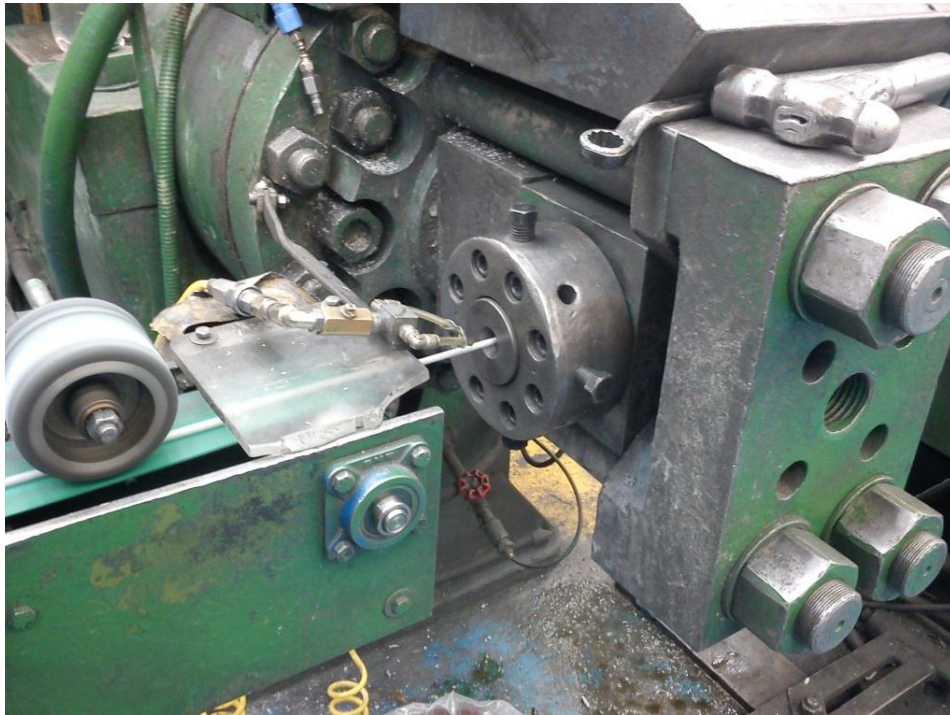


Foto 8 Prensa Armada en funcionamiento

### **8.3 Selección del Recubrimiento.**

La selección de la aleación para utilizar como recubrimiento va ligada al tipo de desgaste que se presente en la pieza a recuperar. Como se observó en el numeral anterior el distribuidor de pasta esta sometido al desgaste por abrasión de alta presión, siendo este desgaste uno de los más perjudiciales de la industria.

En la actualidad se encuentran una gran gama de aleaciones para combatir el desgaste por abrasión, debido a que cada fabricante se reserva sus conocimientos y composiciones exactas de cada una de ellas ofreciéndolas como una solución para sus piezas. Sin embargo queda claro que las aleaciones para el desgaste por abrasión con bajo desgaste por impacto, son aleaciones ferrosas con mas de 20% de aleación, donde su principal

característica es el alto contenido de cromo y carbono, preferiblemente con estructura hipereutectica.

En las aleaciones de alto contenido de cromo se posibilita la formación del microconstituyente duro principal que es el carburo de cromo, el cual es responsable de las propiedades antidesgaste del depósito, especialmente contra la abrasión. Debido a los altos porcentajes de cromo estos, depósitos exhiben buena resistencia a la corrosión.

Todas las aleaciones base carburos desarrollan grietas transversales, producto del alivio de tensiones. Como regla general se puede decir que mientras mayor el porcentaje de carburos, mayor es la tendencia al agrietamiento, mayor es la cantidad de grietas que se generan pero mayor es su resistencia al desgaste y esto se conoce como autofisurables.

A medida que los carburos son desgastados y golpeados por las partículas abrasivas en movimiento, otros carburos adicionales van apareciendo para resistir el efecto abrasivo y retardar el desgaste.

#### **8.4 Temperaturas del Proceso.**

Cuando se recubren aceros de medio y alto carbono o de baja aleación, con recubrimientos ferrosos, el precalentamiento es generalmente necesario para prevenir la fisuración. Esto no se aplica cuando se deposita una aleación de 14 % de manganeso, el que se debe enfriar lo mas rápido posible para evitar la fragilización. Las temperaturas de precalentamiento son generalmente mas bajas que las que se emplearían para ejecutar juntas soldadas con igual metal base, puesto que el recubrimiento produce más bajas tensiones de contracción que otro procedimiento de soldadura.

Cuando se depositan las aleaciones mas duras se requieren precalentamientos mas elevados, por que aquellos son mas frágiles, y el precalentamiento reduce la contracción diferencial cuando se enfría el metal base y el metal de soldadura, previniendo la fisuración del deposito de baja conductividad.

El tratamiento térmica pos-soldadura se requiere a veces para reducir las tensiones residuales o para ablandar la ZAC endurecida.

Para el proceso de recuperación de la calavera, como el metal base es un acero de medio carbono se debe realizar precalentamiento y se usará una temperatura de 320 °C mínimo y una temperatura entre pases de 340 °C máximo. Estos datos son referenciados de tablas, especificaciones e información de fabricantes de soldadura y de aceros.

## **8.5 Procedimiento de Recuperación de la Calavera.**

El procedimiento de recuperación de la calavera se dividió en tres partes, iniciando con el procedimiento de soldadura, posteriormente el procedimiento de mecanizado y por ultimo los resultados y puesta en marcha.

### **8.5.1 Procedimiento de Soldadura**

Para la recuperación de la calavera, después de caracterizar el material se procedió a tomar las medidas dimensionales de la pieza desgastada, lo que evidenciaba que el espesor de la sección que más estaba sometida al desgaste se encontraba entre 0.5 y 2 mm. Presentando un desgaste aproximado de 8 a 9.5 mm (como se muestra en la foto 9) ya que el espesor inicial de la pieza en esa sección es de 10 mm.

En espesores tan delgados no es posible recubrir directamente y necesita reconstrucción de su material base, pero como estos espesores no se pueden reconstruir directamente con electrodo revestido, fue necesario construir un dispositivo en cobre que sirviera de base para realizar su reconstrucción (como se observa en la foto 10).

El material de aporte seleccionado para la reconstrucción de la calavera fue el West Rode 10 (E11018M) que posee gran resistencia a la tenacidad y baja ductilidad, lo que nos da una gran resistencia a la compresión lo que es apropiado para las reconstrucciones.





Foto 9 Calavera Desgastada



Foto 10 Calavera Desgastada con Dispositivo.



Antes de empezar la reconstrucción se limpio la pieza, dejándola libre de rastros de pasta, grasa y contaminantes que pudiera tener.

El precalentamiento a 300°C se realizó en horno y se garantizó con tizas térmicas antes de proceder a soldar de la misma manera que se verifico la temperatura entre pases.

La reconstrucción se realizo en dos capas con el electrodo West Rode 10 de 2.4 mm de diámetro, a un amperaje de 85 Amp y un voltaje de 18 V para obtener un espesor de 6 mm aproximadamente. La reconstrucción se realizo únicamente en la sección que se presentó el mayor desgaste. Como se observa en la foto 11



Foto 11 Calavera Reconstruida con West Rode 10

Después de reconstruida la pieza se procedió a aplicar el recubrimiento seleccionado para el tipo de desgaste presentado en la pieza. El electrodo seleccionado fue el West Hard 70, que gracias a su composición química se obtiene una estructura hipereutectica con gran

numero de carburos de cromo dentro de una matriz austenítica, obteniéndose así una excelente resistencia al desgaste abrasivo para piezas que no están sometidas al impacto.

Se utilizo un electrodo de 3.2 mm y se aplicó con las recomendaciones del fabricante, en dos capas y con amperaje bajo para disminuir la dilución. Las capas se aplicaron en sentido al desgaste y con un amperaje de 110 A y un voltaje de 21 V.

El recubrimiento se aplicó en todas las secciones de la pieza que están sometidas al desgaste y se evidenciaron las fisuras características que presenta en el recubrimiento como resultado del alivio de tensiones. Como se observa en la foto 12



Foto 12 Calavera Recuperada.

### 8.5.2 Procedimiento de Mecanizado

El distribuidor de pasta en su forma inicial tiene unas características dimensionales específicas que en el momento de su funcionamiento no son relevantes. Excepto las perforaciones de sujeción de la calavera al cabezote secundario, el soporte de la guía transportadora de varillas y la estructura circular externa que encaja en el cabezote.

Como el recubrimiento aplicado no es maquinable con herramientas típicas debido a su alta dureza, para darle la estructura externa a la calavera se mecanizo con piedra de esmeril y se realizaron las características dimensionales más relevantes.



Foto 13 Mecanizado de la Calavera.

### 8.5.3 Resultados y Puesta en Marcha.

Los resultados que se obtuvieron después de mecanizar la pieza fueron dureza, composición química en una probeta simulando el procedimiento de soleo y porcentaje de desgaste de la pieza.

### Composición Química.

#### Composición Química Típica de los Metales de Aporte.

- West Rode 10

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>
0.04	0.37	1.38	0.02	0.01	0.29	0.38	2.13

- West Hard 70

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
4.4	1.0	1.2	29.2	0.76	0.60

#### Composición Química de la Calavera

La composición química de la calavera no se pudo tomar directamente de esta, debido a las restricciones de tamaño de la pieza para el equipo de emisión óptica por chispa con el que se contaba para los análisis. Sin embargo se realizó una probeta para simular el procedimiento en la sección extraída del material base que se utilizó para corroborar el material base. Y el resultado obtenido de la probeta fue el siguiente.

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
3.8	0.6	1.2	27.1	0.61	0.60

#### Dureza.

La dureza típica en segunda capa del West Hard 70 oscila entre 57 y 62 HRc.

La dureza de la calavera fue tomada directamente sobre la recuperación de la pieza después de mecanizada e instantes antes de ser puesta en marcha. La dureza fue tomada con el durómetro portátil y el resultado promedio fue de 57.2





Foto 14 Dureza Sección Recuperada y Sección sin Recuperar

## Metalografía

Como la recuperación fue realizada con las recomendaciones citadas por el fabricante para la aplicación del electrodo West Hard 70, a continuación se relaciona una metalografía del electrodo West Hard 70 proporcionada por Soldaduras West Arco.

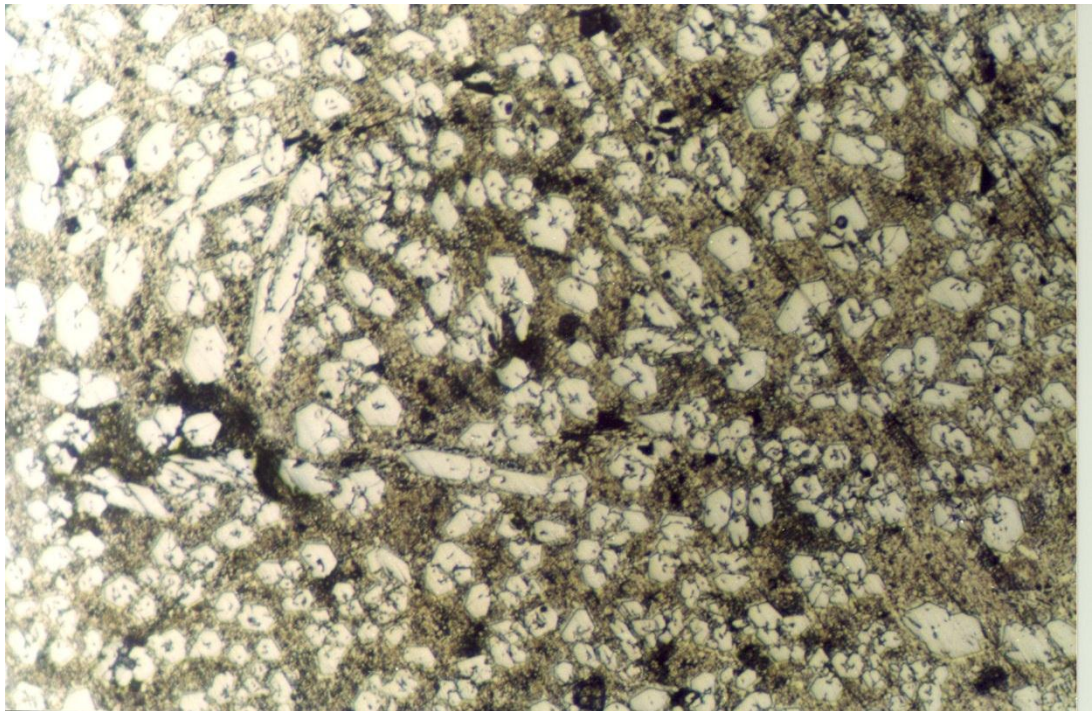


Foto 15 Metalografía West Hard 70

Puesta en Marcha.

La pieza fue probada estructuralmente y adaptada en el cabezote en donde no presento ningún problema de tipo dimensional y fue puesta a prueba el día 30 de Abril del año 2012 por el área de mantenimiento



Foto 16 Calavera Recuperada y Cabezote



Foto 17 Fijación de la Calavera Recuperada al Cabezote



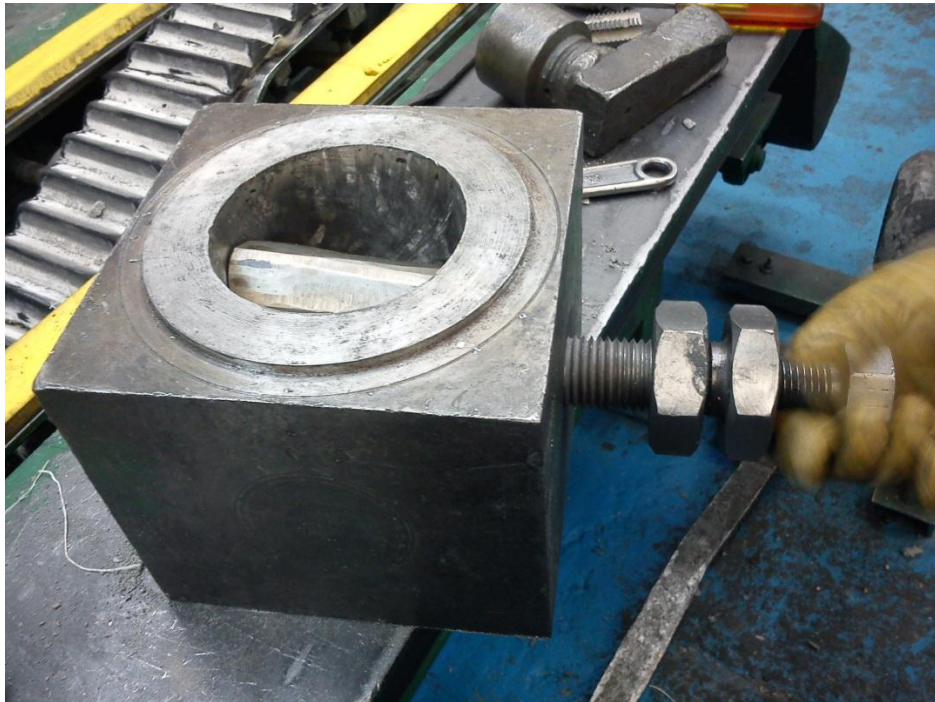


Foto 18 Cabezote Armado.



Foto 19 Calavera Recuperada en el Cabezote Secundario

Tabla Comparativa de Resultados.

<b>Parámetro de Comparación</b>	<b>Calavera Sin Recuperar</b>	<b>Calavera Recuperada</b>
Dureza Promedio (HRc)	31.6	57.2
Horas de Prueba	384	384
Espesor Inicial (mm)	10	12.2
Espesor final (mm)	4.24	10.66
% de Desgaste	57.6	12.6



## 9 ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO

ANÁLISIS TECNO – ECONOMICO		
COSTO DE LA PIEZA NUEVA		
costo de la pieza nueva	Valor de compra	580000
costo remplazo pieza nueva	Costo Mano de Obra	16333
	costo por perdida de producción	9000000
CPN	TOTAL (\$)	9596333
COSTO DE LA PIEZA RECUPERADA		
costo de la pieza a recuperar	Valor de compra	580000
costo de soldadura y de recuperación	Costo de la Soldadura	139360
	Costo soldador y maquinador	30083
	costo uso de equipos	2850
	Costo tratamientos térmicos.	4580
costo remplazo pieza recuperada	Costo Mano de Obra	16333
	costo por perdida de producción	9000000
costo retiro de pieza para ser recuperada	Costo Mano de Obra	16333
	costo por perdida de producción	9000000
CPR	TOTAL (\$)	18789539
RENDIMIENTO PIEZA NUEVA (RPN)		
tiempo de trabajo	Horas estimadas de trabajo	600
RENDIMIENTO PIEZA RECUPERADA (RPR)		
tiempo de trabajo	Horas estimadas de trabajo	2800

El análisis Tecno-Económico es una relación costo beneficio en donde se evalúa el costo de la pieza nueva, contra el costo de la pieza recuperada de la siguiente forma:

$$CB = \frac{CPN}{RPN} - \frac{CPR}{RPR}$$

Donde:

- CB = relación costo beneficio.
- CPN = costo de la pieza nueva
- RPN = rendimiento de la pieza nueva
- CPR = costo de la pieza recuperada
- RPR = rendimiento de la pieza recuperada

Evaluación Costo Beneficio

- Si  $CB > 0$  indica que lo mejor es recubrir la pieza
- Si  $CB = 0$  es indiferente y toca analizar mas todas las variables.
- Si  $CB < 0$  indica que lo mejor es la pieza nueva.

$$9283.3 = \frac{9596333}{600} - \frac{18789539}{2800}$$

Como el valor de costo beneficio es 9283.3 \$/hora y es mayor de uno. La recuperación económicamente es viable.

## **10 CONCLUSIONES.**

- la recuperación de piezas por medio de soldadura, brinda grandes ventajas, las perdidas por dejar de producir se minimizan y los costos por compra de piezas nuevas es menor.
- Los recubrimientos duros en base hierro con alto cromo y carbono, son los adecuados para combatir el desgaste por abrasión a alta presión cuando hay ausencia de desgaste por impacto, Gracias a la formación de carburos de cromo.
- Durante la recuperación de piezas se deben respetar los parámetros de aplicación recomendados por el fabricante, con el fin de controlar la entrada de calor para que no haya un incremento de dilución que pueda afectar la composición química y propiedades físicas del recubrimiento.
- Con la aplicación del recubrimiento West Hard 70, la vida útil de la calavera se incrementa 3.6 veces más.
- Con los parámetros y capas utilizados en el procedimiento de recuperación de la calavera se garantizó la dureza ofrecida por el fabricante del electrodo y se incremento en un 80 % en relación a la pieza sin recuperar.
- Después de la recuperación se incremento en 2.2 mm el espesor de la sección de la pieza que mas esta sometida al desgaste, y no presentó ninguna falla en su funcionamiento. Lo que incrementa la vida útil y abre espacio para un análisis de recuperación sobre la pieza nueva.
- La recuperación de la calavera por medio de West Hard 70 es económica y funcionalmente viable.

## **11 RECOMENDACIONES.**

- Implementar el WPS para la recuperación de la calavera en el manual de mantenimiento de Soldaduras West Arco.
- Se sugiere como estudio, la recuperación de la calavera con otro tipo de recubrimiento para tener un comparativo de rendimientos y resultados.
- Se recomienda recuperar la pieza sin ser sometida al desgaste y realizar un estudio tecno-económico.

## 12 BIBLIOGRAFÍA

1. MONSALVE HECTOR Y MENA DAVID ALEJANDRO. (2004). *Efecto del amperaje en las propiedades de recubrimientos duros resistentes a la abrasión aplicada por soldadura*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia
2. LEON MARGARITA Y GUTIERREZ JUAN CARLOS. (2004). *Relación microestructura Resistencia al desgaste de recubrimientos duros ricos en cromo y tungsteno aplicados por soldadura eléctrica*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia
3. CORONADO JHON Y CAICEDO HOLMAN. (2008). *The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits*. Cali: Tribology International.
4. BECKHAM JOSEPH, ZOLLINGER OLIN & MONROE CHRIS. (1998). *what to know before selecting hardfacing electrodes*. Ohio: Welding Journal.
5. SOLDADURAS WEST ARCO LTDA. *Norma de materias Primas*.
6. SOLDADURAS WEST ARCO LTDA. (2010) *Informe Anual de costos de Producción y Mantenimiento-*.
7. ZAPATA ALBERTO Y MESA DAIRO. (2005). *Terología tecnología de la reconstrucción*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
8. AVNER SYDNEY. (1979). *introducción a la metalurgia física*. New York: Mc Graw Hill
9. ASM METALS HANDBOOK. *Welding Brazing and Soldering*. Vol. 6. Ed. 9.
10. INDURA S.A. *Manual para la recuperación y protección antidesgaste de piezas*.

## ANEXOS



PROCEDIMIENTO PARA SOLDAR No:

SECCION: EXTRUSION

PIEZA: CALAVERA

1

FECHA:

EQUIPO:

PRENSA BEATTY

PLANO:

### MATERIAL BASE

ESPECIFICACION, TIPO Y GRADO: SAE 4140

TRATAMIENTO: Templado y Revenido

OBSERVACIONES: La pieza debe estar libre  
de pasta o cualquier rastro de contaminante

### PRECALENTAMIENTO

TEMP. PRECALENTAMIENTO MIN. 320°C

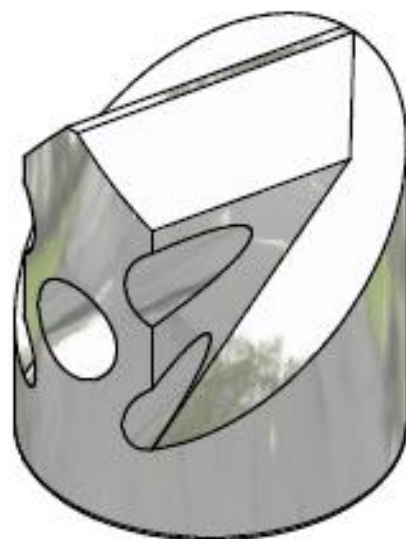
TEMP. ENTRE PASES MAX. 340°C

MANTENIMIENTO DEL PRECALENTAMIENTO

### POSTCALENTAMIENTO

RANGO DE TEMPERATURA N/R

TIEMPO SOSTENIMIENTO



(1:2)

## SOLDADURA

PASES	PRODUCTO		CORRIENTE		OTROS (comentarios, angulo, limpieza etc)	TECNICA		
	REFERENCIA	DIAM	AMP	POLAR		cordon	oscilacion	martillado
1 A 2	WR 10	3/32"	80 - 90	DCEP	LIMPIEZA	Long	NR	NR
3 A 4	WEST HARD 70	1/8"	105 - 115	DCEP	LIMPIEZA	Long	NR	NR

Cordon: long ó vaiven

## PROCEDIMIENTO

TOME LA PIEZA Y RETIRE LOS RESIDUOS DE PASTA U OTROS ELEMENTOS CONTAMINATES, EVALUE EL ESTADO DE DETERIORO DE LA PIEZA (DIMENSION DEL DESGASTE, PERFORACIONES, ETC).

INTRODUZCA EL DISPOSITIVO DE COBRE EN LA CALAVERA , Y PROCEDA A RECUPERAR EL ESPESOR HASTA APROXIMADAMENTE 6 mm. UBIQUE LA PIEZA DE FORMA QUE PUEDA APLICAR LOS CORDONES EN POSICION PLANA

## RECUBRIMIENTO DURO

DESPUES DE RECUPERAR LA PIEZA CON WEST RODE 10 PROCEDA A APLICAR DOS CAPAS DE WEST HARD 70 SIN OSCILAR Y EN ORINETACION AL DESGASTE DE LA PIEZA

POR ULTIMO RECTIFIQUE LAS DIMENSIONES EXTERIORES CON PIEDRA O ESMERIL DE ACUERDO AL PLANO.

**TECNICA:**

CORDON LONG O CORDON VAIVEN

Cordón Long.

LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASOS

Grata

OSCILACION

sin oscilar

PASO MULTIPLE O SIMPLE

múltiple

ELECTRODOS MULTIPLES O SIMPLE

múltiples

VELOCIDAD DE AVANCE

16 mm/min para WR10 y 20 mm/min para WH70

MARTILLADO